

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 7月27日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第212190号

出 願 人

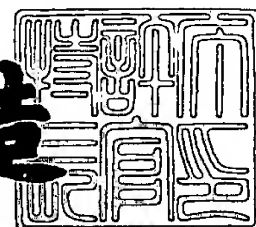
Applicant(s):

住友電気工業株式会社

2000年10月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3081941

【書類名】 特許願

【整理番号】 099Y0215

【提出日】 平成11年 7月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 5/20

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 畑山 均

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 笹岡 英資

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

 【識別番号】 100092657

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9810286

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光フィルタ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光入力端から光出力端へ光を導波させる主光路と、

第 1 の光カプラおよび第 2 の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第 1 および前記第 2 の光カプラとともに第 1 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 1 の副光路と、

第 3 の光カプラおよび第 4 の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第 3 および前記第 4 の光カプラとともに第 2 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 2 の副光路と、

前記第 1 の光カプラと前記第 2 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 1 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 1 の温度調整手段と

前記第 3 の光カプラと前記第 4 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 2 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 2 の温度調整手段と

を備え、

前記第 1 および前記第 2 の温度調整手段による温度調整により、所定の波長帯域中の所定波長において前記光入力端と前記光出力端との間の光の損失が略一定のまま、前記波長帯域における波長に対する光の損失の傾斜が設定される、

ことを特徴とする光フィルタ。

【請求項 2】 前記第 1 の温度調整手段は前記第 1 の光カプラと前記第 2 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 1 の副光路のうち何れか一方の温度を調整し、

前記第 2 の温度調整手段は前記第 3 の光カプラと前記第 4 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 2 の副光路のうち何れか一方の温度を調整する、

ことを特徴とする請求項 1 記載の光フィルタ。

【請求項 3】 前記第 1 の温度調整手段は前記第 1 の光カプラと前記第 2 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 1 の副光路の双方の温度を調整

し、

前記第 2 の温度調整手段は前記第 3 の光カプラと前記第 4 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 2 の副光路の双方の温度を調整する、

ことを特徴とする請求項 1 記載の光フィルタ。

【請求項 4】 前記波長帯域は帯域 1 5 3 5 n m ~ 1 5 6 5 n m を含むことを特徴とする請求項 1 記載の光フィルタ。

【請求項 5】 前記波長帯域は帯域 1 5 7 5 n m ~ 1 6 0 5 n m を含むことを特徴とする請求項 1 記載の光フィルタ。

【請求項 6】 前記損失の傾斜の絶対値は少なくとも 0 ~ 5 d B / 3 0 n m の範囲で可変であることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の光フィルタ。

【請求項 7】 前記損失の傾斜の絶対値は少なくとも 0 ~ 1 0 d B / 3 0 n m の範囲で可変であることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の光フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光増幅器における信号光の光増幅の利得を等化する利得等化器等として好適に用いられる光フィルタに関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

光増幅器は、励起光により励起可能な蛍光物質が添加され信号光を光増幅する光導波路と、この光導波路に励起光を供給する励起手段とを含み、光伝送システムにおける中継局などに設けられる。特に、多波長の信号光を伝送する波長多重伝送システムに用いられる光増幅器は、多波長の信号光それぞれを互いに等しい利得で一括光増幅するとともに、多波長の信号光それぞれのパワーを一定の目標値として出力することが重要である。そこで、このような光増幅器において信号光の光増幅の利得を等化するために、光導波路における利得スペクトルと同様の形状の損失スペクトルを有する光フィルタが利得等化器として用いられる。

【 0 0 0 3 】

例えば、文献 1 「K. Inoue, et al., "Tunable Gain Equalization Using a M

ach-Zehnder Optical Filter in Multistage Fiber Amplifiers”, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.3, No.8, pp.718-720 (1991)」には、マッハツェンダ干渉計を用いた光フィルタにより光増幅器の利得平坦化を図る技術が記載されている。また、文献2「H. Toba, et al., "Demonstration of Optical FDM Based Self-Healing Ring Network Employing Arrayed-Waveguide-Grating ADM Filters and EDFAs", Proceedings of ECOC'94, pp.263-266 (1994)」には、上記文献1に記載された光フィルタが2つ縦続接続された構成の光フィルタが記載されている。さらに、文献3「T. Naito, et al., "Active Gain Slope Compensation in Large-Capacity, Long-Haul WDM Transmission System", Proceedings of OAA'98, WC5, pp.36-39 (1999)」には、光の偏光方位の回転量が可変のファラデー回転子、複屈折性の平板、2つの複屈折性の楔型部材およびレンズ系を備えて構成された光フィルタが記載されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記文献1に記載された技術では、例えば光増幅器の前段の光伝送路の損失が何等かの原因により変動して、光増幅器に入力する信号光のパワーが変動したときに、光増幅器から出力される信号光のパワーを一定に保とうとすると、光増幅器における信号光の光増幅の利得を変化させる必要がある。そして、利得を変化させると、利得の波長依存性すなわち利得傾斜が変動し、その結果、光増幅器の利得平坦性が損なわれ、光増幅器から出力される多波長の信号光それぞれのパワーが偏差を有することになる。

【0005】

このような問題点に対処するため、上記文献2に記載された技術は、光フィルタを構成する各マッハツェンダ干渉計における各光カプラおよび各分岐光路それぞれの温度を入力信号光パワーに応じて調整することにより、光フィルタの損失傾斜を調整して、入力信号光パワーの変動に伴う利得傾斜の変動を補償するものである。しかし、入力信号光パワーに応じて光フィルタの損失傾斜を変更すると、信号光波長帯域における損失レベルが変動し、光増幅器から光増幅されて出力される信号光のS/N比が変動し劣化する。また、この光フィルタは、損失傾斜

を調整するために設けられたヒータの数が 6 個と多く、損失傾斜の制御が複雑である。

【0006】

また、上記文献 3 に記載された技術は、各波長の信号光のパワーの偏差が小さくなるようにファラデー回転子における光の偏光方位の回転量を調整することで、光フィルタの損失傾斜を調整して、各波長の信号光パワーの偏差を低減するものである。そして、上記文献 2 に記載された技術とは異なり、この光フィルタでは、損失傾斜を変更しても信号光波長帯域における所定の中心波長における損失が略一定のままである。しかし、この光フィルタは、部品点数が多いことから、構成が複雑であって、組み立て時の光軸調整が困難である。

【0007】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、光増幅器における利得等化器等として好適に用いられ構成が簡易であって損失傾斜の制御が容易な光フィルタを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光フィルタは、光入力端から光出力端へ光を導波させる主光路と、第 1 の光カプラおよび第 2 の光カプラそれぞれを介して主光路と光結合されて主光路ならびに第 1 および第 2 の光カプラとともに第 1 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 1 の副光路と、第 3 の光カプラおよび第 4 の光カプラそれぞれを介して主光路と光結合されて主光路ならびに第 3 および第 4 の光カプラとともに第 2 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 2 の副光路と、第 1 の光カプラと第 2 の光カプラとの間における主光路および第 1 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 1 の温度調整手段と、第 3 の光カプラと第 4 の光カプラとの間における主光路および第 2 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 2 の温度調整手段とを備え、第 1 および第 2 の温度調整手段による温度調整により、所定の波長帯域中の所定波長において光入力端と光出力端との間の光の損失が略一定のまま、上記波長帯域における波長に対する光の損失の傾斜が設定されることを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

本発明に係る光フィルタでは、主光路および第 1 の副光路ならびに第 1 および第 2 の光カプラにより第 1 のマッハツェンダ干渉計が構成され、また、主光路および第 2 の副光路ならびに第 3 および第 4 の光カプラにより第 2 のマッハツェンダ干渉計が構成されている。これら第 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計は、主光路を共有して互いに縦続接続されている。第 1 の光カプラと第 2 の光カプラとの間における主光路および第 1 の副光路の双方または何れか一方の温度が第 1 の温度調整手段により調整され、第 3 の光カプラと第 4 の光カプラとの間における主光路および第 2 の副光路の双方または何れか一方の温度が第 2 の温度調整手段により調整される。そして、本発明に係る光フィルタは、第 1 および第 2 の温度調整手段による温度調整により第 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計それぞれの透過特性が調整されて、所定の波長帯域中の所定波長において光入力端と光出力端との間の光の損失が略一定のまま、上記波長帯域における波長に対する光の損失の傾斜が設定される。このように、本発明に係る光フィルタは、構成が簡易であって損失傾斜の制御が容易であり、例えば光増幅器における利得等化器等として好適に用いられ得る。

【 0 0 1 0 】

また、本発明に係る光フィルタにおいて、第 1 の温度調整手段は第 1 の光カプラと第 2 の光カプラとの間における主光路および第 1 の副光路のうち何れか一方の温度を調整し、第 2 の温度調整手段は第 3 の光カプラと第 4 の光カプラとの間における主光路および第 2 の副光路のうち何れか一方の温度を調整することを特徴とする。この場合には、第 1 の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を 1 つ設けるだけでよく、また、第 2 の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を 1 つ設けるだけでよいので、構成が更に簡易である。特に、第 1 の光カプラと第 2 の光カプラとの間における主光路の温度を調整し、第 3 の光カプラと第 4 の光カプラとの間における第 2 の副光路の温度を調整する場合には、両者に対して同一の温度調整（例えば同一の温度上昇または同一の温度降下）を行うことができるので、制御が更に容易である。

【 0 0 1 1 】

また、本発明に係る光フィルタにおいて、第 1 の温度調整手段は第 1 の光カプラと第 2 の光カプラとの間における主光路および第 1 の副光路の双方の温度を調整し、第 2 の温度調整手段は第 3 の光カプラと第 4 の光カプラとの間における主光路および第 2 の副光路の双方の温度を調整することを特徴とする。この場合には、第 1 の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を 2 つ設け、また、第 2 の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を 2 つ設けることになるが、4 つのヒータ等の何れによっても温度調整を行わないときに損失傾斜を一定値（例えば値 0）とすることができ、また、4 つのヒータ等のうちの何れか 2 つのヒータ等による温度調整のみで損失傾斜を正だけでなく負にも設定することができる。したがって、消費電力が小さい点で好適である。

【0012】

また、本発明に係る光フィルタにおいて、上記波長帯域は、帯域 1 5 3 5 n m ~ 1 5 6 5 n m を含むのが好適であり、或いは、帯域 1 5 7 5 n m ~ 1 6 0 5 n m を含むのも好適である。また、損失の傾斜の絶対値は、少なくとも 0 ~ 5 d B / 3 0 n m の範囲で可変であるのが好適であり、少なくとも 0 ~ 1 0 d B / 3 0 n m の範囲で可変であるのが更に好適である。これらの場合には、本発明に係る光フィルタは、波長 1. 5 5 μ m 帯や波長 1. 5 9 μ m 帯の多波長の信号光を伝送する光伝送システムにおいて、中継局等に設けられる光増幅器の利得特性を等化する利得等化器として好適に用いられる。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0014】

（第 1 の実施形態）

先ず、本発明に係る光フィルタの第 1 の実施形態について説明する。図 1 は、第 1 の実施形態に係る光フィルタ 1 の構成図である。本実施形態に係る光フィルタ 1 は、基板 1 0 上に形成された平面光導波路回路であって、主光路 2 0、第 1 の副光路 2 1、第 2 の副光路 2 2、第 1 の温度調整手段としてのヒータ 5 1、お

よび、第 2 の温度調整手段としてのヒータ 5 3 を備えている。

【0 0 1 5】

主光路 2 0 は、基板 1 0 の一方の端面にある光入力端 1 1 と他方の端面にある光出力端 1 2 との間に設けられた光路である。光入力端 1 1 から光出力端 1 2 へ順に、第 1 のカプラ 3 1、第 2 のカプラ 3 2、第 3 のカプラ 3 3 および第 4 のカプラ 3 4 が設けられている。主光路 2 0 と第 1 の副光路 2 1 とは、第 1 の光カプラ 3 1 および第 2 の光カプラ 3 2 それぞれを介して互いに光結合されている。そして、主光路 2 0、第 1 の副光路 2 1、第 1 の光カプラ 3 1 および第 2 の光カプラ 3 2 は第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 を構成している。主光路 2 0 と第 2 の副光路 2 2 とは、第 3 の光カプラ 3 3 および第 4 の光カプラ 3 4 それぞれを介して互いに光結合されている。そして、主光路 2 0、第 2 の副光路 2 2、第 3 の光カプラ 3 3 および第 4 の光カプラ 3 4 は第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 を構成している。第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 は、主光路 2 0 を共有して互いに縦続接続されている。

【0 0 1 6】

ヒータ 5 1 は、第 1 の光カプラ 3 1 と第 2 の光カプラ 3 2 との間における主光路 2 0 上に設けられている。このヒータ 5 1 は、主光路 2 0 の温度を調整することにより、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 における主光路 2 0 と第 1 の副光路 2 1 との光路長差を調整して、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 の透過特性を調整する。また、ヒータ 5 3 は、第 3 の光カプラ 3 3 と第 4 の光カプラ 3 4 との間における第 2 の副光路 2 2 上に設けられている。このヒータ 5 3 は、第 2 の副光路 2 2 の温度を調整することにより、第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 における主光路 2 0 と第 2 の副光路 2 2 との光路長差を調整して、第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 の透過特性を調整する。

【0 0 1 7】

この光フィルタ 1 では、光入力端 1 1 に入力し主光路 2 0 を経て光出力端 1 2 から出力される光に対する損失スペクトル $L(\lambda)$ は、光カプラ 3 1 および 3 2 による主光路 2 0 と第 1 の副光路 2 1 との間の光結合に基づく第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 の透過特性 $T_1(\lambda)$ 、および、光カプラ 3 3 および 3 4 による主光

路 2 0 と第 2 の副光路 2 2 との間の光結合に基づく第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 の透過特性 $T_2(\lambda)$ の双方に従う。

【0 0 1 8】

一般にマッハツェンダ干渉計の透過特性 $T(\lambda)$ は、

【数 1】

$$T(\lambda) = 1 - A \cdot \sin^2 \{ 2\pi(\lambda - \lambda_0) / \Delta\lambda + \Delta\phi \} \quad \cdots (1)$$

なる式で表される。ここで、 λ は光の波長である。 A 、 λ_0 および $\Delta\lambda$ それぞれはマッハツェンダ干渉計の構造パラメータにより決定される定数である。また、 $\Delta\phi$ は温度調整により設定され得る位相値である。そして、光フィルタ 1 の損失スペクトル $L(\lambda)$ は、

【数 2】

$$L(\lambda) = -10 \cdot \log \{ T_1(\lambda) \cdot T_2(\lambda) \} \quad \cdots (2)$$

なる式で表される。また、光フィルタ 1 の損失傾斜 $S(\lambda)$ は、

【数 3】

$$S(\lambda) = dL(\lambda) / d\lambda \quad \cdots (3)$$

なる式で表される。なお、光フィルタ 1 の損失 $L(\lambda)$ の単位は dB である。

【0 0 1 9】

光フィルタ 1 は、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 それぞれの定数 A 、 λ_0 および $\Delta\lambda$ の各値が適切に設計されることにより、所定の波長帯域中の所定波長 λ_1 における損失 $L(\lambda_1)$ が略一定のまま、ヒータ 5 1、5 3 による温度調整により位相値 $\Delta\phi$ の値が設定され、その波長帯域における損失 $L(\lambda)$ および損失傾斜 $S(\lambda)$ が設定される。以下の各実施例でも述べるように、光フィルタ 1 の損失傾斜 $S(\lambda)$ は波長 λ に対する依存性が小さい

。すなわち、光フィルタ 1 の損失 $L(\lambda)$ は波長 λ に対する線形性が優れる。

【0020】

次に、本実施形態に係る光フィルタ 1 の第 1 実施例について説明する。第 1 実施例は、波長帯域が $1.55 \mu\text{m}$ 帯すなわち $1535 \text{ nm} \sim 1565 \text{ nm}$ であって、中心波長が 1550 nm であり、損失傾斜の絶対値の最大値が $5 \text{ dB} / 30 \text{ nm}$ である。この第 1 実施例では、第 1 のマッハツェンダ干渉計 41 において、 A の値を 0.6 とし、 λ_0 の値を 1550 nm とし、 $\Delta\lambda$ の値を 200 nm とした。また、第 2 のマッハツェンダ干渉計 42 において、 A の値を 0.5 とし、 λ_0 の値を 1600 nm とし、 $\Delta\lambda$ の値を 200 nm とした。そして、第 1 のマッハツェンダ干渉計 41 における主光路 20 および第 2 のマッハツェンダ干渉計 42 における第 2 の副光路 22 の温度をヒータ 51, 53 により調整して、マッハツェンダ干渉計 41 および 42 それぞれの位相値 $\Delta\phi$ の絶対値を互い等しく符号を逆とし、位相値 $\Delta\phi$ の値を $0 \text{ rad} \sim 0.595 \text{ rad}$ の範囲で変化させた。

【0021】

図 2 は、第 1 実施例に係る光フィルタの損失スペクトルを位相値 $\Delta\phi$ の各値について示したグラフである。このグラフから判るように、波長帯域 $1535 \text{ nm} \sim 1565 \text{ nm}$ 中の中心波長 1550 nm 付近で損失が $2.73 \text{ dB} \sim 3.01 \text{ dB}$ であって略一定であり、その波長帯域において損失傾斜が $0 \sim 5.05 \text{ dB} / 30 \text{ nm}$ の範囲で設定可能である。また、損失 2.89 dB (@ 中心波長 1550 nm) の点を通る直線との偏差の最大値は、位相値 $\Delta\phi$ が 0.595 rad であるときに $\pm 0.21 \text{ dB}$ であって十分に小さく、損失傾斜は線形性に優れている。

【0022】

なお、第 1 実施例において、主光路 20 および第 2 の副光路 22 の温度をヒータ 51, 53 により或る一定のバイアス温度に調整したときに位相値 $\Delta\phi$ の値が 0 になるようにマッハツェンダ干渉計 41 および 42 それぞれの構造パラメータを適切に設定すると、主光路 20 および第 2 の副光路 22 の温度を上記バイアス温度より上昇させることにより位相値 $\Delta\phi$ の値を $0 \sim +0.595 \text{ rad}$ の範囲で変化させることができ、また、主光路 20 および第 2 の副光路 22 の温度を上

記バイアス温度より降下させることにより位相値 $\Delta\phi$ の値を -0.595 rad ～ 0 の範囲で変化させることができる。このようにして位相値 $\Delta\phi$ の値を -0.595 rad ～ $+0.595\text{ rad}$ の範囲で変化させることにより、波長帯域 1535 nm ～ 1565 nm において損失傾斜が $-5\text{ dB}/30\text{ nm}$ ～ $+5\text{ dB}/30\text{ nm}$ の範囲で設定可能となる。

【0023】

また、第1実施例において、ヒータ51, 53に替えてペルチエ素子を設けて、主光路20および第2の副光路22の温度を上昇または降下させることにより、位相値 $\Delta\phi$ の値を正だけでなく負にも設定することができる。このようにして位相値 $\Delta\phi$ の値を -0.595 rad ～ $+0.595\text{ rad}$ の範囲で変化させることにより、波長帯域 1535 nm ～ 1565 nm において損失傾斜が $-5\text{ dB}/30\text{ nm}$ ～ $+5\text{ dB}/30\text{ nm}$ の範囲で設定可能となる。

【0024】

次に、本実施形態に係る光フィルタ1の第2実施例について説明する。第2実施例は、波長帯域が $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 帯すなわち 1535 nm ～ 1565 nm であって、中心波長が 1550 nm であり、損失傾斜の絶対値の最大値が $10\text{ dB}/30\text{ nm}$ である。この第2実施例では、第1のマッハツェンダ干渉計41において、Aの値を0.85とし、 λ_0 の値を 1550 nm とし、 $\Delta\lambda$ の値を 200 nm とした。また、第2のマッハツェンダ干渉計42において、Aの値を0.60とし、 λ_0 の値を 1600 nm とし、 $\Delta\lambda$ の値を 200 nm とした。そして、第1のマッハツェンダ干渉計41における主光路20および第2のマッハツェンダ干渉計42における第2の副光路22の温度をヒータ51, 53により調整して、マッハツェンダ干渉計41および42それぞれの位相値 $\Delta\phi$ の値の絶対値を互い等しく符号を逆とし、位相値 $\Delta\phi$ の値を 0 rad ～ 0.595 rad の範囲で変化させた。

【0025】

図3は、第2実施例に係る光フィルタの損失スペクトルを位相値 $\Delta\phi$ の各値について示したグラフである。このグラフから判るように、波長帯域 1535 nm ～ 1565 nm 中の中心波長 1550 nm 付近で損失が 3.65 dB ～ 3.98

d Bであって略一定であり、その波長帯域において損失傾斜が $0 \sim 10 \text{ dB} / 30 \text{ nm}$ の範囲で設定可能である。また、損失 0.87 dB (@中心波長 1550 nm)の点を通る直線との偏差の最大値は、位相値 $\Delta \phi$ の値が 0.314 rad であるときに $\pm 0.87 \text{ dB}$ であって十分に小さく、損失傾斜は線形性に優れている。

【0026】

なお、第2実施例においても、主光路20および第2の副光路22の温度をヒータ51, 53により或る一定のバイアス温度に調整したときに位相値 $\Delta \phi$ の値が0になるようにマッハツェンダ干渉計41および42それぞれの構造パラメータを適切に設定して、主光路20および第2の副光路22の温度を上記バイアス温度より上昇または降下させることにより、位相値 $\Delta \phi$ の値を正だけでなく負にも設定することができる。また、ヒータ51, 53に替えてペルチエ素子を設けて、主光路20および第2の副光路22の温度を上昇または降下させることにより、位相値 $\Delta \phi$ の値を正だけでなく負にも設定することができる。このようにして位相値 $\Delta \phi$ の値を $-0.595 \text{ rad} \sim +0.595 \text{ rad}$ の範囲で変化させることにより、波長帯域 $1535 \text{ nm} \sim 1565 \text{ nm}$ において損失傾斜が $-10 \text{ dB} / 30 \text{ nm} \sim +10 \text{ dB} / 30 \text{ nm}$ の範囲で設定可能となる。

【0027】

次に、本実施形態に係る光フィルタ1の第3実施例について説明する。第3実施例は、波長帯域が $1.59 \mu\text{m}$ 帯すなわち $1575 \text{ nm} \sim 1605 \text{ nm}$ であって、中心波長が 1590 nm であり、損失傾斜の絶対値の最大値が $5 \text{ dB} / 30 \text{ nm}$ である。この第3実施例では、第1のマッハツェンダ干渉計41において、Aの値を0.6とし、 λ_0 の値を 1590 nm とし、 $\Delta \lambda$ の値を 200 nm とした。また、第2のマッハツェンダ干渉計42において、Aの値を0.5とし、 λ_0 の値を 1640 nm とし、 $\Delta \lambda$ の値を 200 nm とした。そして、第1のマッハツェンダ干渉計41における主光路20および第2のマッハツェンダ干渉計42における第2の副光路22の温度をヒータ51, 53により調整して、マッハツェンダ干渉計41および42それぞれの位相値 $\Delta \phi$ の値の絶対値を互い等しく符号を逆とし、位相値 $\Delta \phi$ の値を $0 \text{ rad} \sim 0.595 \text{ rad}$ の範囲で変化させ

た。

【0028】

図4は、第3実施例に係る光フィルタの損失スペクトルを位相値 $\Delta\phi$ の各値について示したグラフである。このグラフから判るように、波長帯域1575nm～1605nm中の中心波長1590nm付近で損失が2.73dB～3.01dBであって略一定であり、その波長帯域において損失傾斜が0～5dB/30nmの範囲で設定可能である。また、損失2.89dB（@中心波長1590nm）の点を通る直線との偏差の最大値は、位相値 $\Delta\phi$ の値が0.595radであるときに±0.21dBであって十分に小さく、損失傾斜は線形性に優れている。

【0029】

なお、第3実施例においても、主光路20および第2の副光路22の温度をヒータ51, 53により或る一定のバイアス温度に調整したときに位相値 $\Delta\phi$ の値が0になるようにマッハツェンダ干渉計41および42それぞれの構造パラメータを適切に設定して、主光路20および第2の副光路22の温度を上記バイアス温度より上昇または降下させることにより、位相値 $\Delta\phi$ の値を正だけでなく負にも設定することができる。また、ヒータ51, 53に替えてペルチエ素子を設けて、主光路20および第2の副光路22の温度を上昇または降下させることにより、位相値 $\Delta\phi$ の値を正だけでなく負にも設定することができる。このようにして位相値 $\Delta\phi$ の値を-0.595rad～+0.595radの範囲で変化させることにより、波長帯域1575nm～1605nmにおいて損失傾斜が-5dB/30nm～+5dB/30nmの範囲で設定可能となる。

【0030】

以上のように、上記の各実施例を含む本実施形態に係る光フィルタ1は、所定の波長帯域中の所定波長における損失が略一定であり、ヒータ51, 53による温度調整により位相値 $\Delta\phi$ の値が設定され、その波長帯域において波長に対する損失の傾斜が設定される。このように、この光フィルタ1は、構成が簡易であって、損失傾斜の制御も容易である。また、光フィルタ1は損失傾斜が線形性に優れている。さらに、光フィルタ1は、各構成要素が基板10上に形成され集積化

されていることから、小型であって、部品点数が少なく、光入力端 1 1 および光出力端 1 2 それぞれにおいてのみ光軸調整を行えばよいので調整が容易である。

【0 0 3 1】

なお、ヒータ 5 1 を設けることなく、第 1 の光カプラ 3 1 と第 2 の光カプラ 3 2 との間の第 1 の副光路 2 1 上にペルチエ素子を設けて、このペルチエ素子により第 1 の副光路 2 1 の温度を降下させてもよい。また、ヒータ 5 3 を設けることなく、第 3 の光カプラ 3 3 と第 4 の光カプラ 3 4 との間の主光路 2 0 上にペルチエ素子を設けて、このペルチエ素子により主光路 2 0 の温度を降下させてもよい。これら何れの場合にも同様の作用・効果が得られる。

【0 0 3 2】

したがって、本実施形態に係る光フィルタ 1 は例えば光増幅器における利得等化器として好適に用いられる。すなわち、光増幅器の前段の光伝送路の損失が何等かの原因により変動して、光増幅器に入力する信号光のパワーが変動したときに、光増幅器から出力される信号光のパワーを一定に保つために、光増幅器における信号光の光増幅の利得を変化させる。そして、利得を変化させると、利得の波長依存性すなわち利得傾斜が変動し、その結果、光増幅器の利得平坦性が損なわれる。しかし、光増幅器における利得等化器として本実施形態に係る光フィルタ 1 を用い、入力信号光パワーに応じて光フィルタ 1 の位相値 $\Delta\phi$ の値すなわち損失傾斜の値を調整することにより、入力信号光パワーの変動に伴う利得傾斜の変動を光フィルタ 1 の損失傾斜で補償することができる。このとき、光フィルタ 1 の損失傾斜を変更しても、信号光波長帯域における所定の中心波長における損失が変動することがなく、光増幅されて出力される信号光の S/N 比が劣化することがない。特に上記の各実施例のように信号光波長帯域や中心波長が設定される場合には、本実施形態に係る光フィルタ 1 は、波長 1.55 μm 帯や波長 1.59 μm 帯の多波長の信号光を伝送する光伝送システムにおいて、中継局等に設けられる光増幅器の利得特性を等化する利得等化器として好適に用いられる。

【0 0 3 3】

(第 2 の実施形態)

次に、本発明に係る光フィルタの第 2 の実施形態について説明する。図 5 は、

第 2 の実施形態に係る光フィルタ 2 の構成図である。第 1 の実施形態に係る光フィルタ 1 と比較して、本実施形態に係る光フィルタ 2 は、第 1 の温度調整手段としてヒータ 5 1 に加えてヒータ 5 2 を更に備える点、および、第 2 の温度調整手段としてヒータ 5 3 に加えてヒータ 5 4 を更に備える点で異なる。

【 0 0 3 4 】

ヒータ 5 2 は、第 1 の光カプラ 3 1 と第 2 の光カプラ 3 2 との間における第 1 の副光路 2 1 上に設けられており、第 1 の副光路 2 1 の温度を調整する。このヒータ 5 2 は、ヒータ 5 1 とともに、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 における主光路 2 0 と第 1 の副光路 2 1 との光路長差を調整して、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 の透過特性 $T_1(\lambda)$ を調整する。また、ヒータ 5 4 は、第 3 の光カプラ 3 3 と第 4 の光カプラ 3 4 との間における主光路 2 0 上に設けられており、主光路 2 0 の温度を調整する。このヒータ 5 4 は、ヒータ 5 3 とともに、第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 における主光路 2 0 と第 2 の副光路 2 2 との光路長差を調整して、第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 の透過特性 $T_2(\lambda)$ を調整する。

【 0 0 3 5 】

本実施形態でも、マッハツェンダ干渉計 4 1、4 2 それぞれの透過特性は上記 (1) 式で表され、光フィルタ 2 全体の損失スペクトル $L(\lambda)$ は上記 (2) 式で表される。光フィルタ 2 の損失スペクトル $L(\lambda)$ は、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 それぞれの定数 A 、 λ_0 および $\Delta\lambda$ の値が適切に設計されることにより、所定の波長帯域中の所定波長における損失が略一定であり、ヒータ 5 1 ～ 5 4 による温度調整により位相値 $\Delta\phi$ の値が設定され、その波長帯域において波長に対する損失の傾斜が設定される。

【 0 0 3 6 】

なお、本実施形態では、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 の位相値 $\Delta\phi$ の値は、ヒータ 5 1、5 2 により設定された主光路 2 0 および第 1 の副光路 2 1 それぞれの温度の差により調整される。例えば、ヒータ 5 1 により主光路 2 0 の温度を上昇させることにより第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 の位相値 $\Delta\phi$ の値は大きくなり、ヒータ 5 2 により第 1 の副光路 2 1 の温度を上昇させることにより第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 の位相値 $\Delta\phi$ の値は小さくなる。

【 0 0 3 7 】

同様に、第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 の位相値 $\Delta \phi$ の値は、ヒータ 5 3, 5 4 により設定された主光路 2 0 および第 2 の副光路 2 2 それぞれの温度の差により調整される。例えば、ヒータ 5 3 により第 2 の副光路 2 2 の温度を上昇させることにより第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 の位相値 $\Delta \phi$ の値は大きくなり、ヒータ 5 4 により主光路 2 0 の温度を上昇させることにより第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 の位相値 $\Delta \phi$ の値は小さくなる。

【 0 0 3 8 】

すなわち、本実施形態に係る光フィルタ 2 では、ヒータ 5 1 ~ 5 4 の何れによっても温度調整を行わないときに、位相値 $\Delta \phi$ が一定値 $\Delta \phi_0$ (例えば $\Delta \phi_0 = 0$) となり、損失傾斜 S が一定値 S_0 (例えば $S_0 = 0$) となるように設計する。このとき、ヒータ 5 2, 5 4 による温度調整を行うことなく、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 における主光路 2 0 および第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 における第 2 の副光路 2 2 をヒータ 5 1, 5 3 により温度調整することにより、位相値 $\Delta \phi$ の値を $\Delta \phi > \Delta \phi_0$ の範囲で変化させることができ、損失傾斜 S を $S > S_0$ の範囲で変化させることができる。逆に、ヒータ 5 1, 5 3 による温度調整を行うことなく、第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 における第 1 の副光路 2 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 における主光路 2 0 をヒータ 5 2, 5 4 により温度調整することにより、位相値 $\Delta \phi$ の値を $\Delta \phi < \Delta \phi_0$ の範囲で変化させることができ、損失傾斜 S を $S < S_0$ の範囲で変化させることができる。

【 0 0 3 9 】

以上のように、第 2 の実施形態に係る光フィルタ 2 では、4 つのヒータ 5 1 ~ 5 4 の何れによっても温度調整を行わないときに位相値 $\Delta \phi$ の値すなわち損失傾斜の値を 0 とすることができ、また、4 つのヒータ 5 1 ~ 5 4 のうちの何れか 2 つのヒータによる温度調整のみで位相値 $\Delta \phi$ の値すなわち損失傾斜の値を正だけでなく負にも設定することができる。したがって、第 2 の実施形態に係る光フィルタ 2 は、第 1 の実施形態に係る光フィルタ 1 が奏する効果と同様の効果を奏する他、第 1 の実施形態に係る光フィルタ 1 において一定のバイアス温度で位相値 $\Delta \phi$ の値を 0 とする場合と比較すると消費電力が小さい点で好適である。

【0 0 4 0】

なお、第2の実施形態においてもヒータ51～54に替えてペルチエ素子を入れてもよい。この場合、例えば、第1のマッハツェンダ干渉計41における主光路20および第2のマッハツェンダ干渉計42における第2の副光路22と、第1のマッハツェンダ干渉計41における第1の副光路21および第2のマッハツェンダ干渉計42における主光路20とのうち、一方の温度を上昇させるとともに他方の温度を降下させることにより、位相値 $\Delta\phi$ の値すなわち損失傾斜の値を正だけでなく負にも設定することができる。この場合にも消費電力が小さい点で好適である。

【0 0 4 1】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、発明に係る光フィルタは、必ずしも各構成要素が基板上に形成され集積化されたものである必要はなく、主光路ならびに第1および第2の副光路が光ファイバからなり、第1～第4の光カプラそれぞれが光ファイバカプラからなるものであってもよい。この場合には、この光フィルタを光ファイバ伝送路上に設ける際の挿入損失が小さい点で好適である。

【0 0 4 2】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光フィルタによれば、主光路を共有して互いに縦続接続された第1および第2のマッハツェンダ干渉計それぞれの透過特性が第1および第2の温度調整手段による温度調整により調整されて、所定の波長帯域中の所定波長において光入力端と光出力端との間の光の損失が略一定のまま、上記波長帯域における波長に対する光の損失の傾斜が設定される。このように、本発明に係る光フィルタは、構成が簡易であって損失傾斜の制御が容易である。したがって、この光フィルタは、例えば光増幅器における利得等化器等として好適に用いられ、入力信号光パワーの変動に伴い光増幅器の光増幅の利得が変動して利得傾斜が生じたとしても、その利得傾斜を補償することができる。また、光フィルタの損失傾斜を変更しても中心波長における損失は略一定であるので、信号光のS/N比が劣化することがない。

【0043】

また、第1の温度調整手段は第1の光カプラと第2の光カプラとの間における主光路および第1の副光路のうち何れか一方の温度を調整し、第2の温度調整手段は第3の光カプラと第4の光カプラとの間における主光路および第2の副光路のうち何れか一方の温度を調整する場合には、第1の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を1つ設けるだけでよく、また、第2の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を1つ設けるだけでよいので、構成が更に簡易である。特に、第1の光カプラと第2の光カプラとの間における主光路の温度を調整し、第3の光カプラと第4の光カプラとの間における第2の副光路の温度を調整する場合には、両者に対して同一の温度調整（例えば、同一の温度上昇または同一の温度降下）を行うことができるので、制御が更に容易である。

【0044】

また、第1の温度調整手段は第1の光カプラと第2の光カプラとの間における主光路および第1の副光路の双方の温度を調整し、第2の温度調整手段は第3の光カプラと第4の光カプラとの間における主光路および第2の副光路の双方の温度を調整する場合には、第1の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を2つ設け、また、第2の温度調整手段としてのヒータやペルチエ素子等を2つ設けることになるが、4つのヒータ等の何れによっても温度調整を行わないときに損失傾斜を一定値とすることができ、また、4つのヒータ等のうちの何れか2つのヒータ等による温度調整のみで損失傾斜を正だけでなく負にも設定することができる。したがって、消費電力が小さい点で好適である。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1の実施形態に係る光フィルタの構成図である。

【図2】

第1実施例に係る光フィルタの損失スペクトルを位相値 $\Delta\phi$ の各値について示したグラフである。

【図3】

第2実施例に係る光フィルタの損失スペクトルを位相値 $\Delta\phi$ の各値について示

したグラフである。

【図 4】

第 3 実施例に係る光フィルタの損失スペクトルを位相値 $\Delta \phi$ の各値について示したグラフである。

【図 5】

第 2 の実施形態に係る光フィルタの構成図である。

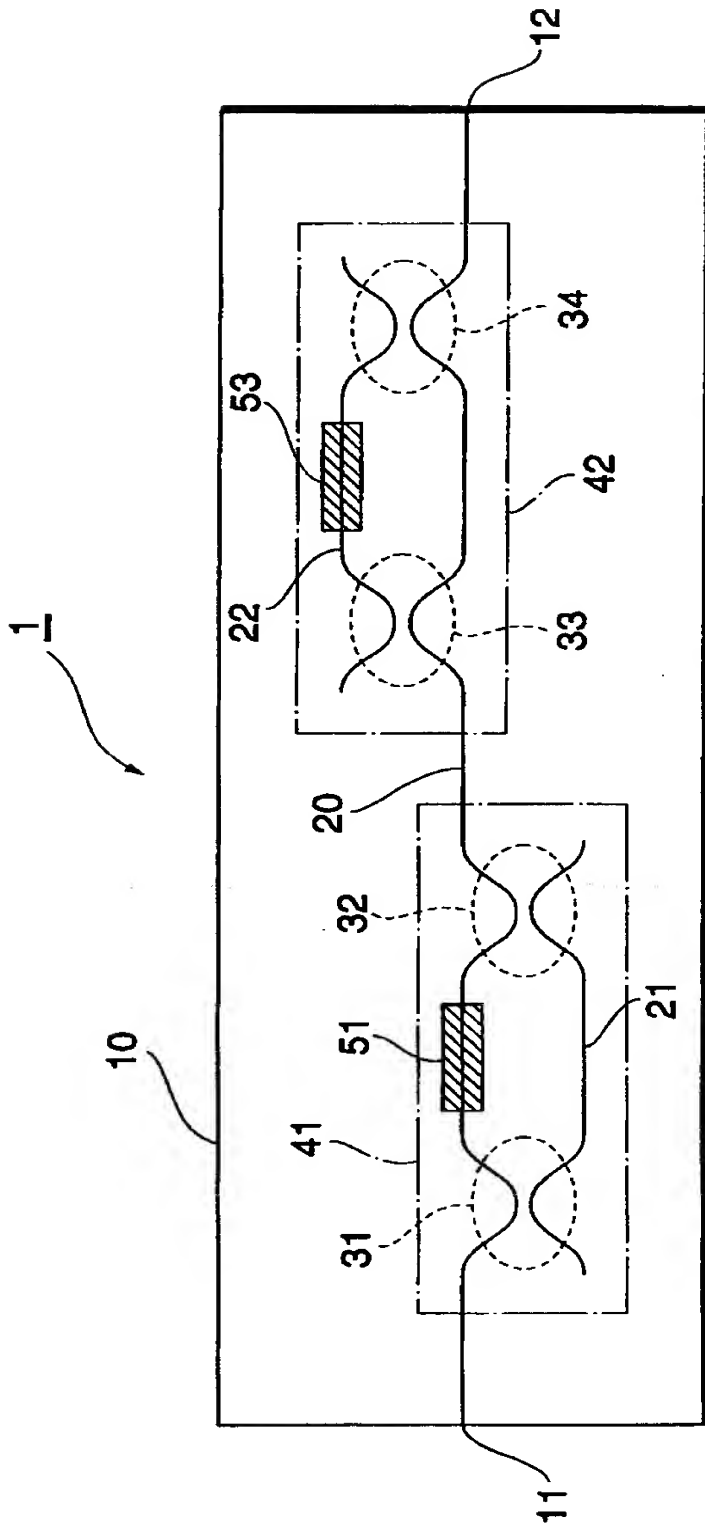
【符号の説明】

1, 2 … 光フィルタ、1 0 … 基板、1 1 … 光入力端、1 2 … 光出力端、2 0 … 主光路、2 1 … 第 1 の副光路、2 2 … 第 2 の副光路、3 1 … 第 1 の光カプラ、3 2 … 第 2 の光カプラ、3 3 … 第 3 の光カプラ、3 4 … 第 4 の光カプラ、4 1 … 第 1 のマッハツェンダ干渉計、4 2 … 第 2 のマッハツェンダ干渉計、5 1, 5 2 … ヒータ（第 1 の温度調整手段）、5 3, 5 4 … ヒータ（第 2 の温度調整手段）。

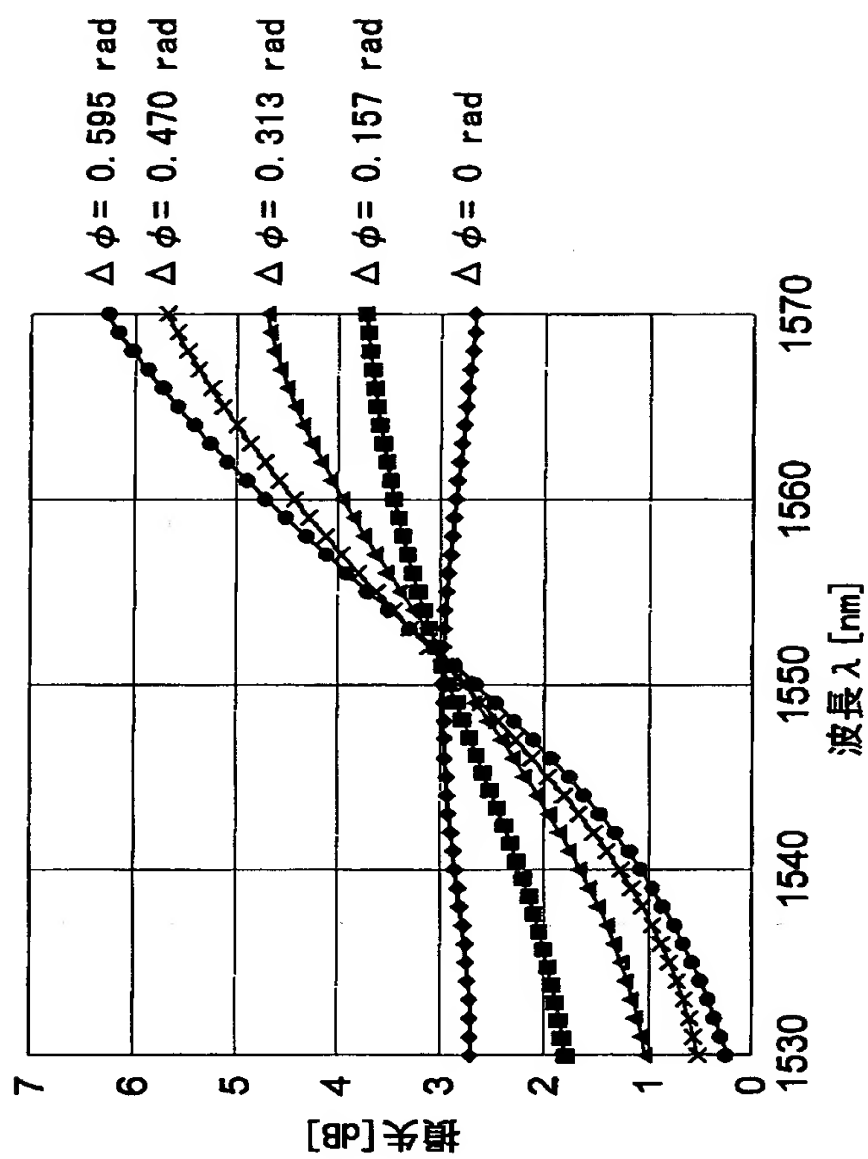
【書類名】

図面

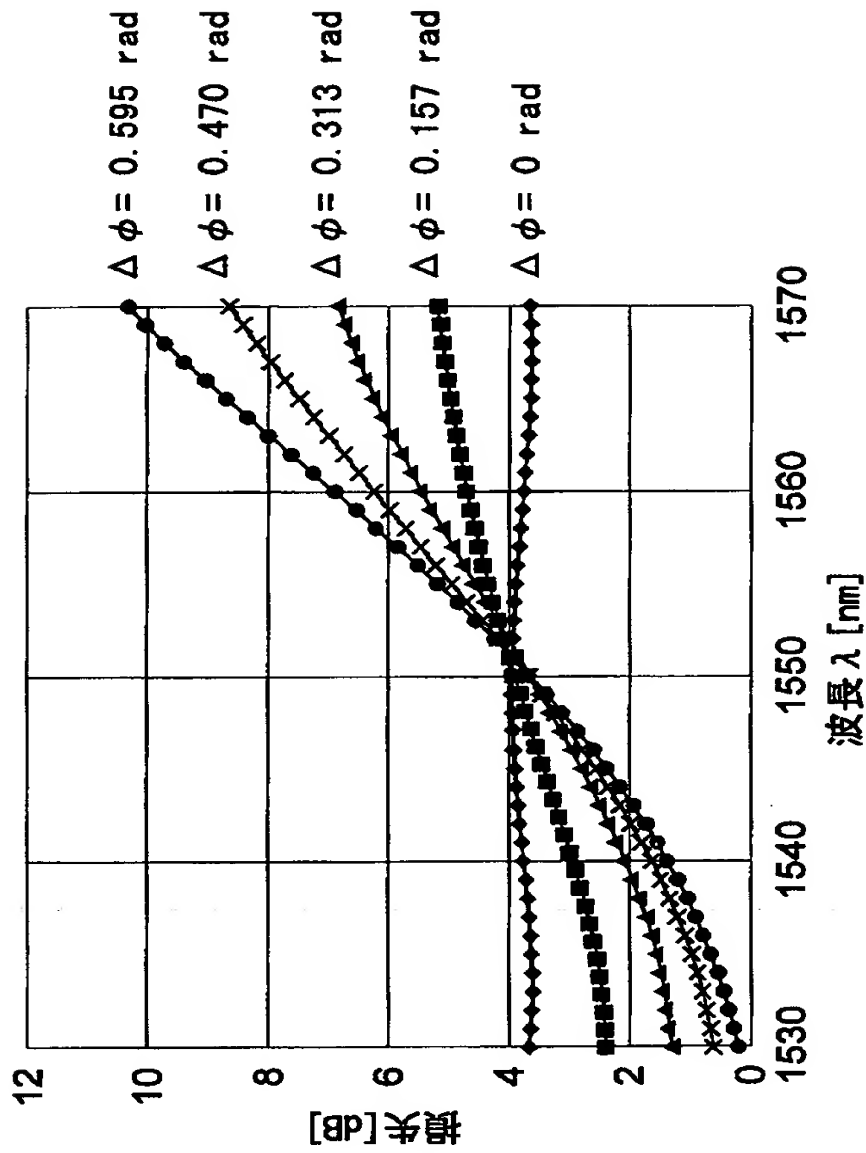
【図 1】



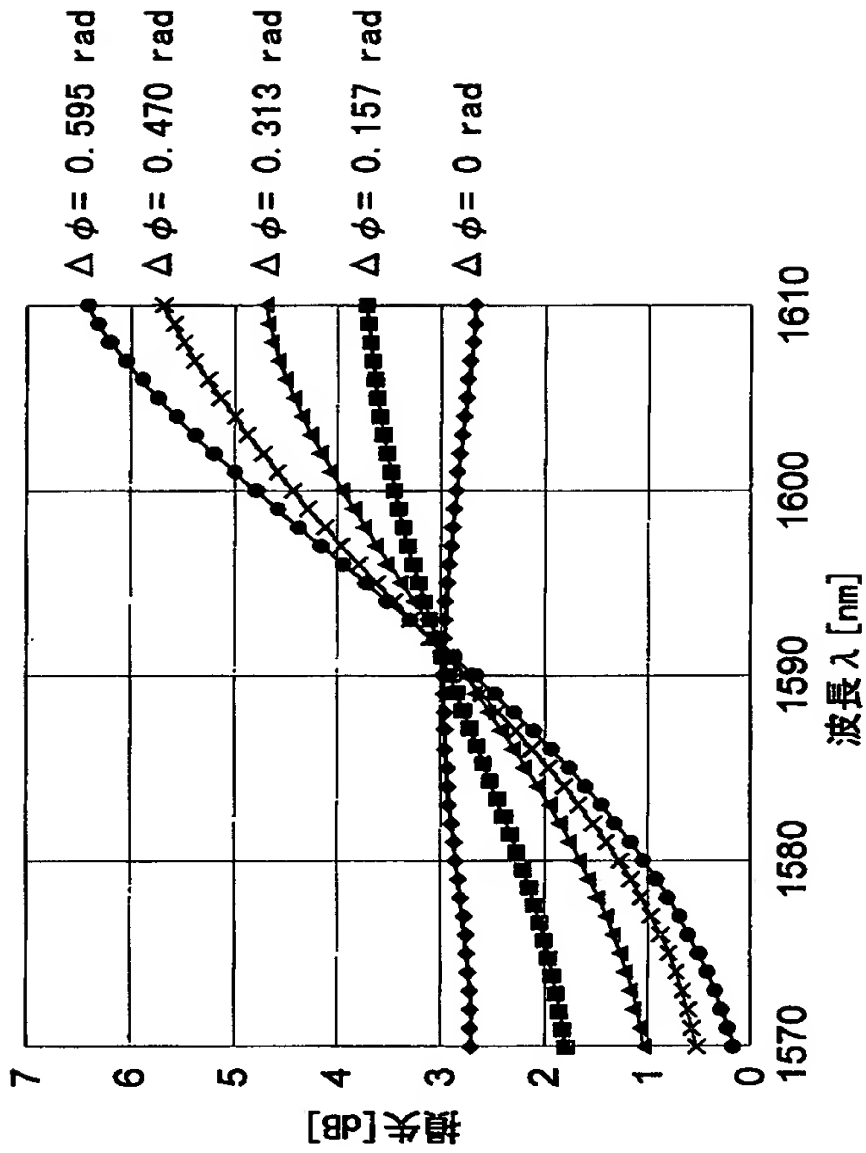
【図 2】



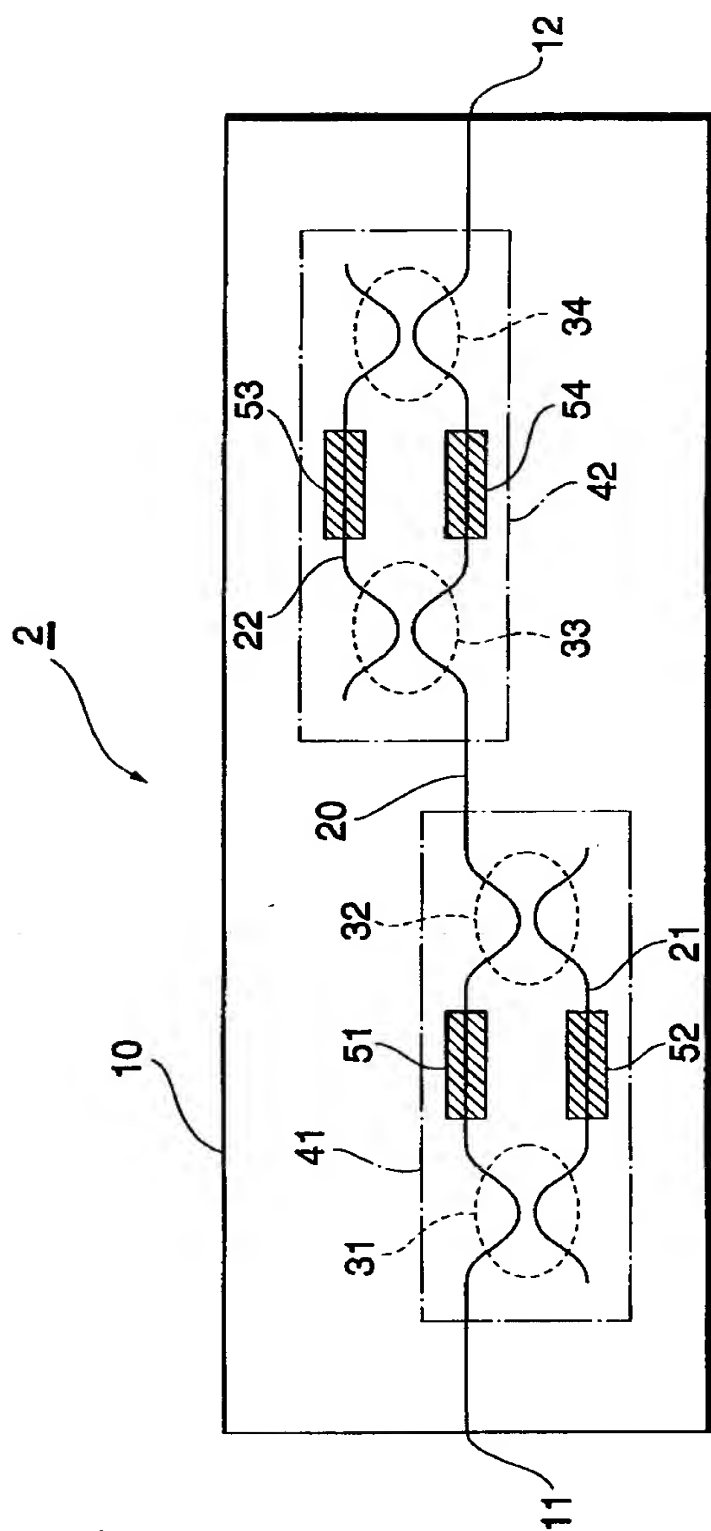
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光増幅器における利得等化器等として好適に用いられ構成が簡易であって損失傾斜の制御が容易な光フィルタを提供する。

【解決手段】 主光路 2 0、第 1 の副光路 2 1、第 1 の光カプラ 3 1 および第 2 の光カプラ 3 2 により第 1 のマッハツェンダ干渉計 4 1 が構成される。主光路 2 0、第 2 の副光路 2 2、第 3 の光カプラ 3 3 および第 4 の光カプラ 3 4 により第 2 のマッハツェンダ干渉計 4 2 が構成される。第 1 の光カプラ 3 1 と第 2 の光カプラ 3 2 との間における主光路 2 0 の温度がヒータ 5 1 により調整される。第 3 の光カプラ 3 3 と第 4 の光カプラ 3 4 との間における第 2 の副光路 2 2 の温度がヒータ 5 3 により調整される。光フィルタ 1 は、光入力端 1 1 に入力し光出力端 1 2 から出力される光に対して、所定の波長帯域中の所定波長における損失が略一定であって、上記波長帯域において波長に対する損失の傾斜が設定される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社